

Introduction à la caractérisation des sols en géotechnique

Problèmes de MDS

Les problèmes de mécanique des sols
innombrables
spécifiques du site
de l'ouvrage
de la situation ...

Poser et résoudre un Pb

hypothèses simplificatrices sont nécessaires
les résultats des calculs sont des ordres de grandeur

Modélisation d'un problème géotechnique

Profil géotechnique

Entrée (Input)

- Géométrie (2D, 3D)
- Paramètres censés caractériser le milieu représentant le sol (densité, angle de frottement, cohésion, perméabilité...)
- Conditions initiales et aux limites
- Causes (effort, pression, contrainte...) correspond (déplacement, déformation, écoulement...)

Méthodes de calcul (intégration d'équations)

Sortie (Output)

Les résultats mathématiquement précis, ne sont que des ordres de grandeur
On les minore donc au moyen d'un « coefficient de sécurité » aussi petit que possible.

Applications dans le domaine de la géotechnique

1. Stabilité d'une pente

Exemples :

- Excavation
- Digue
 - a. Si stabilité non vérifiée
Solution :
 - b. Méthodes de résolution
 - Analytique :
 - Méthode due à Rankine de la hauteur critique du talus - hauteur au-delà de laquelle un talus de pente donnée est potentiellement instable
 - Graphique :
Méthode due à Fellenius améliorée par Bishop des tranches ou du coefficient de sécurité au glissement.
 - Numérique : Logiciels

2. Murs de soutènements

Méthode : coin de Coulomb

3. Fondations

Type

- superficielles (semelles filantes, semelles isolées, radier)
- semi-profondes (puits)
- profondes ou spéciales (pieux ancrés, pieux flottants)

Choix du type

- Observations géologiques
 - structure du sous-sol du site
 - nature des géomatériaux
 - eau souterraine...
- Calculs mécaniques (mesure des paramètres des sols)
 - Laboratoire,
 - In situ
- Obligations constructives (implantation, architecture, structure...).

Les mouvements susceptibles d'affecter des fondations

- Tassements élastiques
- De consolidation
- Les gonflements
- Les ruptures plastiques
 - Basculements
 - Poinçonnements
 - glissements

Avertissements

- On doit s'accommoder des tassements ;
- on peut éviter les gonflements ;
- il est indispensable d'éviter les ruptures ;
- la stabilité des ouvrages aux tassements prime sur le risque de rupture de leurs fondations.

Théories

Théorie de la mécanique des sols classique :

- fondée sur la loi de Coulomb,
- modélise le comportement à des efforts externes variables d'un milieu minéral, monophasique, sans eau libre ...

Au moyen de courbes graphiques temps-effort-déformations, l'analyse qualitative de ce comportement complexe est possible mais insuffisante pour obtenir un résultat particulier ; pour le faire mathématiquement, il faut analyser chaque étape du comportement – élasticité, plasticité, rupture - au moyen d'une théorie trop spécifique d'un problème type pour être généralisée sans devoir recourir à des développements compliqués et mal fondés

La théorie de l'élasticité

- fondée sur la loi de Hooke
- matériaux rocheux peu déformables

La théorie de la consolidation

- proposée par Terzaghi
- matériaux sablo-argileux meubles biphasiques

Sol Sous :

- propre poids
- ou sous une charge extérieure
 - se consolide de plus en plus à mesure que le temps passe
 - son indice des vides et sa teneur en eau diminuent,
 - sa densité et sa résistance mécanique augmentent,
 - sa perméabilité diminue.

La déformation est dite pseudo-élastique : le rapport contrainte/déformation n'est pas constant comme le module d'Young du comportement élastique linéaire ; il dépend de la pression interstitielle et de ses variations qui, elles, dépendent de la perméabilité du matériau ; la durée du tassement.

La théorie de la plasticité et de la rupture

- fondée sur la loi de Coulomb ;
- matériaux sablo-argileux meubles, monophasiques
- formule linéaire rupture par cisaillement sous l'effet combiné d'une traction (T) et d'une compression (N) : $T = c + N \cdot \tan \varphi$

La théorie de l'hydraulique souterraine

- fondée sur la loi de Darcy
- matériau granulaire perméable
- la vitesse d'écoulement V (Q/S) et le gradient hydraulique i ($\Delta h/L$) sont linéairement liés par une constante empirique, la perméabilité k ($V = k \cdot i$) qui dépendrait seulement du matériau aquifère.

Différencier sols et roches ?

En géotechnique, le sol est "la formation superficielle naturelle, de structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus, physiques, chimiques et biologiques, au contact de l'atmosphère et des êtres vivants" (Demolon s.d.).

Origines des sols

Les sols ont deux origines principales :

- la **désagrégation des roches** (altération mécanique et physicochimique sous l'effet des agents naturels).
- la **décomposition d'organismes vivants** : végétaux (tourbes) ou animaux (craies).

On distingue également :

- les **sols résiduels** résultant de l'altération sur place des roches ;
- les **sols transportés** provenant du dépôt des produits d'altération préalablement repris par un agent physique de transport. Ce sont les sols transportés qui posent au concepteur d'ouvrages les problèmes les plus délicats.

Indicateurs caractérisant un sol

- Physiques

Les paramètres physiques d'un sol se mesurent spécifiquement sur échantillons éventuellement remaniés par des essais d'identification.

- Granulométrie : par tamisage et/ou sédimentométrie
- Poids et volumes : pesage avant et après dessiccation d'un échantillon à l'étuve :
 - o Poids ou masse volumique - ou plus simplement densité ;
 - o Teneur en eau ;
 - o Indice des vides ;
- Limites d'atterberg
- Autres essais d'identification : équivalent de sable, valeur au bleu de méthylène, teneurs en carbone, matières organiques...

- Mécaniques

Les paramètres mécaniques sont les variables des formules de calcul de stabilité des talus, fondations... Ils sont spécifiques d'une théorie, d'une méthode de calcul et d'un essai (matériel et processus), de sorte qu'il n'est pas possible d'établir leurs corrélations numériques pour un même sol. On les mesure spécifiquement sur échantillons dits « intacts » ; ils ne le sont jamais.

- Paramètres de la plasticité/rupture (Coulomb)
 - o la cohésion c et l'angle de frottement φ se mesurent au laboratoire à la boîte de Casagrande ou au triaxial, selon des processus différents (CD, CU, UU, U) qui fournissent des couples c/φ différents ; un couple générique suffit à la plupart des calculs d'applications dont les résultats ne sont que des ordres de grandeur ;
 - o la résistance à la compression simple se mesure au laboratoire par écrasement à la presse d'un échantillon plus ou moins solide ;
- Paramètres de la consolidation (Terzaghi)
 - o l'indice de compression, le coefficient de consolidation, la perméabilité... se mesurent au laboratoire à l'œdomètre ou au triaxial ;
 - o la pression interstitielle se mesure au triaxial.
 - o la perméabilité se mesure au laboratoire au perméamètre ou à l'œdomètre et/ou in situ.
- Paramètres pressiométriques (Ménard)
 - o la pression limite et le module pressiométrique se mesurent in situ au moyen d'un pressiomètre.
- Autres essais in situ : SPT, Standard Penetration Test ; pénétromètre dynamique ; scissomètre ; pénétromètre statique...

Normes

Il existe plusieurs normes pour les essais de sols. Les plus courantes sont les normes ASTM (American Society for Testing and Materials) et les normes NF (Normes Françaises). Les normes ASTM sont utilisées dans le monde entier pour les essais de sols et de matériaux de construction. Les normes NF sont utilisées en France pour les essais de sols et de matériaux de construction.